

(a)

# METHOD AND DEVICE FOR GENERATING ANALYTICAL MODEL AND METHOD FOR ANALYZING INJECTION MOLDING PROCESS

Patent Number: JP10255077  
Publication date: 1998-09-25  
Inventor(s): NAKANO AKIRA  
Applicant(s): TORAY IND INC  
Requested Patent: ☐ JP10255077  
Application Number: JP19970052012 19970306  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G06T17/20; B29C45/76  
EC Classification:  
Equivalents:

---

## Abstract

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce a period and labor required for numerical analysis by fully automatically dividing a complex shape into meshes for numerical analysis.

**SOLUTION:** In the hardware constitution of an analytical model generating device, an input device 103, a display device 104 and an auxiliary storage device 102 are connected to a computer 101 and an analytical model consisting of many fine polyhedral elements is generated from a calculation area to be numerically analyzed. The surface shape of the calculation area is defined, a regulated division space consisting of many polyhedral fine elements is defined and fine elements in which the rate of volume of a portion included in the calculation area is smaller than a prescribed minimum filling ratio out of the many polyhedral fine elements are removed. An analytical model for approximating the calculation area is obtained by a set of remaining fine elements. After selecting the fine elements, the surface vertexes of the remaining fine elements are moved to the surface of the calculation area. After moving the surface vertexes, the internal vertexes of the fine elements of which surface vertexes have been moved are moved correspondingly to the movement of the surface vertexes.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

HEI10-255077

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0027] In step 3, the computer 101 reads the surface data from the RAM 101 (random access volatile memory), defines a rectangular solid A containing the computational region as shown in Fig.4, and divides the rectangular solid A into state of lattices defining a pitch to divide each. The pitches to divide each side may be nonuniform, may be for the operator to input through the input device 103, or may be automatically computed from the shape. Furthermore, instead the shape of the rectangular solid A, the shape of a tetrahedron, parallelepiped, sphere, cylinder, or the like may be applied in accordance with the shape of the computational region. In this case, the steps following can be realized by changing the coordinate system to a coordination system consisting of line coordinate axes in three directions which are not parallel with each other, a polar coordinate system, a cylindrical coordinate system, or the like. In the present invention, a space consisting of many fine space-elements defined like this is referred to a normalized division space.

[0032] In step 5, the computer 101 obtains, by removing

fine elements of which the filling ratio  $F$  is less than or equal to the minimum filling ratio  $F_m$ , first approximate mesh  $G$  where the computing areas are approximated to step-wise. Fig. 9 shows an example of the sectional shape. The value of the appropriate minimum filling ratio  $F_m$  is preferable to set, though depending on the shape and lattice interval, within 0.1 to 0.3. The smaller  $F_m$  is set, the more possible to avoid dropping of a fine element having a portion included in the computing area, but the increase excess volume is added.

a)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-255077

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 6 T 17/20

G 0 6 F 15/60

6 1 2 J

B 2 9 C 45/76

B 2 9 C 45/76

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-52012

(71) 出願人 000003159

東レ株式会社

東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月6日

(72) 発明者 中野 亮

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(54) 【発明の名称】 解析モデルの生成方法および装置ならびに射出成形過程の解析方法

(57) 【要約】

【課題】数値解析モデルの生成にあたり、人手による入力作業を極力なくし、かつ複雑な3次元形状を安定してメッシュ分割することができる。これにより、数値解析にかかる期間や労力を大幅に短縮しうる解析モデルの生成方法を提供すること。

【解決手段】計算領域の表面形状を定義し、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義し、これら多数の多面体微小要素のうち計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい微小要素を取り除いて、残りの微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとする。

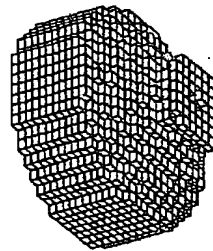


図15

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】数値解析の対象となる計算領域より多数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する方法であって、前記計算領域の表面形状を定義する表面形状定義工程と、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義する規格化分割空間定義工程と、前記多数の多面体微小要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択工程とを備え、残りの前記微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとすることを特徴とする解析モデルの生成方法。

【請求項2】前記微小要素選択工程の後に、残りの前記微小要素の表面頂点を計算領域の表面へ移動する表面頂点移動工程を備えたことを特徴とする請求項1に記載の解析モデルの生成方法。

【請求項3】前記表面頂点移動工程の後に、前記表面頂点を移動された微小要素の内部頂点を前記表面頂点の移動に呼応して移動させる内部頂点移動工程を備えたことを特徴とする請求項2に記載の解析モデルの生成方法。

【請求項4】前記内部頂点移動工程は、移動させられた前記内部頂点の移動に呼応して該内部頂点を共有する別の多面体微小要素の別の頂点を移動させる工程を備えたことを特徴とする請求項3に記載の解析モデルの生成方法。

【請求項5】数値解析の対象となる計算領域より複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する方法であって、前記計算領域の表面形状を定義する表面形状定義工程と、前記計算領域の少なくとも一部を内包する内包多面体を定義する内包多面体定義工程と、前記計算領域の互いに異なる3つの方向の寸法をそれぞれ所定の分割数にて除することにより定めたピッチに基づいて前記内包多面体を前記3つの方向それぞれについて分割して多数の微小多面体要素を生成する微小要素分割工程と、前記多数の微小多面体要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択工程とを備え、残りの前記微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとすることを特徴とする解析モデルの生成方法。

【請求項6】数値解析の対象となる計算領域より多数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する装置であって、前記計算領域の表面形状を定義する表面形状定義手段と、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義する規格化分割空間定義手段と、前記規格化分割空間定義手段により定義された多数の多面体微小要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい微小要素を取り除く微小要素選択手段とを備えたことを特徴とする解析モデルの生成装置。

【請求項7】前記微小要素選択手段により微小要素を取

り除かれた残りの微小要素の表面頂点を計算領域の表面へ移動する表面頂点移動手段を備えたことを特徴とする請求項6に記載の解析モデルの生成装置。

【請求項8】数値解析の対象となる計算領域より複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する装置であって、計算領域の表面形状を定義する表面形状定義手段と、前記表面形状定義手段により定義された計算領域の少なくとも一部を内包する内包多面体を定義する内包多面体定義手段と、前記計算領域の互いに異なる3つの方向の寸法をそれぞれ所定の分割数にて除することにより定めたピッチに基づいて前記内包多面体定義手段により定義された内包多面体を前記3つの方向それぞれについて分割して多数の微小多面体要素を生成する微小要素分割手段と、微小要素分割手段により生成された多数の微小多面体要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択手段とを備えたことを特徴とする解析モデルの生成装置。

【請求項9】射出成形の流体流動過程を数値解析する方法であって、射出成形キャビティを表わす計算領域の表面形状を定義する表面形状定義工程と、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義する規格化分割空間定義工程と、前記多数の多面体微小要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択工程と、残りの前記微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとして前記流体の流動過程を数値解析することを特徴とする射出成形過程の解析方法。

【請求項10】請求項1～5のいずれかに記載の解析モデルの生成方法の各手順をコンピュータを用いて実行するためのコンピュータプログラムを記憶した記憶媒体。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は数値解析、例えば有限要素法、差分法、有限体積法において、計算領域を複数の微小な多面体の要素に分割して解析モデルを生成方法および装置ならびにかかる解析モデルを用いる射出成形過程の解析方法に関する。

【0002】

【従来の技術】有限要素法、境界要素法あるいは有限体積法などの数値解析において、計算領域を微小な6面体、5面体あるいは4面体などの多面体微小要素に分割する方法がいくつか用いられている。例えば射出成形の流動過程を解析する場合、計算領域とは射出成形により腑形される成形品形状であり、成形品形状が複雑な場合の分割方法の例としては、基本形状への写像を利用して分割するマップトメッシュ法と、探索的に微小要素を生成するアドバンシングフロント法が主に用いられていた。

【0003】マップトメッシュ法は、図20に示すように形状をいくつかの4辺形や6面体などの部分領域の組

み合わせに対話的に分割する。部分領域の辺は曲線でもよいが、辺の数やつながり方は長方形や直方体などの予め定義された基本形状に対応していなければならない。基本形状では予めメッシュ分割の方法が、例えば長方形は格子状に分割するというように定められており、この格子状分割をもとの部分領域へ写像することで部分領域のメッシュ分割を得る。これをすべての部分領域について行い、最後に組み合わせることで全体の計算領域のメッシュ分割を得ることができる。マップトメッシュ法については、例えばメッシュ分割領域の定義を簡略化する方法が特開平4-294241に示されている。

【0004】またアドバンシングフロント法は、図21に示すように、まず計算領域の表面を指定された間隔で分割してその頂点Paのグループをフロント頂点とし、計算領域内部方向へ新たな微小要素を発生させ、その表面頂点のグループを新たにフロント頂点と定義し直すことによって、最終的に計算領域内部が埋められるまでフロントを前進させる方法である。

【0005】一方、計算機に計算領域の形状データを入力する形状定義については、3次元CADソフトウェアを用いてソリッドモデリング法により、例えば断面形状の座標値を入力してから引き延ばしたり、直方体などの基本形状を組み合わせたりすることによって対話的に定義することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】マップトメッシュ法では、一般に計算領域が複雑形状の場合には、内部に分割線や分割面を定義するなどして複数の部分領域に分ける必要がある。この作業は人手により対話的に行う必要があり、多大な時間と労力を要する。特に3次元CADですで

に形状入力されている場合にも、改めて部分領域形状を定義しなおす必要があり非効率である。

【0007】アドバンシングフロント法ではメッシュ分割領域形状は任意であり、3次元CADで定義された形状をそのまま用いることができるが、生成される微小要素形状が三角錐型の4面体要素に限られることが多い。ここで4面体要素と6面体要素を比べると、同一の要素サイズで同一空間をメッシュ分割した場合、一般に4面体の方が要素数が4～6倍になることが多く、複雑な形状を取り扱う場合には数値解析や表示に要する時間が増大することが多い。また同一の要素数で4面体要素での分割と6面体要素での分割を比べると、一般に4面体要素のサイズが大きくなり、解析精度が低下する可能性がある。これは数値解析では連続的に変化する圧力や歪みなどの物理量を微小要素の頂点に代表させて近似することから、微小要素が大きくなると頂点間距離が増大し、物理量の変化が激しい場合には近似が困難になるためである。

【0008】また、アドバンシングフロント法により6面体要素を生成する方法も一部に実用化されているが、

要素の変形や潰れが生じたり、形状が複雑な場合にはメッシュ分割不可能となる。この原因は、アドバンシングフロント法がまず表面を分割してから内部へ要素を生成していく方法であり、例えば射出成形品のような薄肉形状では、表裏の表面分割が一致していない場合に、内部で調整してつなぐことが困難になるためである。

【0009】さらに3次元CADでは微小な面取りやコーナー曲面部などの形状が精密に入力されていることが多く、これをそのままメッシュ分割すると微小要素数が膨大となって数値解析が困難となることが多い。

【0010】本発明の目的は、人手による入力作業を極力なくし、かつ複雑な3次元形状を安定してメッシュ分割する方法を提案することにより、数値解析にかかる期間や労力を大幅に短縮しうる解析モデルの生成方法および装置を提供することにある。

【0011】また、本発明の別の目的は、解析対象の計算領域が解析に必要な程度を越えて精密に定義されているCADデータに基づいて定義されている場合であっても、数値解析用として適切な粗さの解析モデルを生成しうる解析モデルの生成方法および装置を提供することにある。

【0012】また、本発明の別の目的は、射出成形過程の解析に適切な解析モデルを生成しうる解析モデルの生成方法および装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明によれば、数値解析の対象となる計算領域より多数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する方法であって、前記計算領域の表面形状を定義する表面形状定義工程と、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義する規格化分割空間定義工程と、前記多数の多面体微小要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択工程とを備え、残りの前記微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとすることを特徴とする解析モデルの生成方法が提供される。

【0014】また、本発明の好ましい態様によれば、前記微小要素選択工程の後に、残りの前記微小要素の表面頂点を計算領域の表面へ移動する表面頂点移動工程を備えたことを特徴とする解析モデルの生成方法が提供される。

【0015】また、本発明の好ましい態様によれば、前記表面頂点移動工程の後に、前記表面頂点を移動された微小要素の内部頂点を前記表面頂点の移動に呼応して移動させる内部頂点移動工程を備えたことを特徴とする生成方法が提供される。

【0016】また、本発明の好ましい態様によれば、前記内部頂点移動工程は、移動させられた前記内部頂点の移動に呼応して該内部頂点を共有する別の多面体微小要素

素の別の頂点を移動させる工程を備えたことを特徴とする解析モデルの生成方法が提供される。

【0017】また、本発明の別の態様によれば、数値解析の対象となる計算領域より複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する方法であって、前記計算領域の表面形状を定義する表面形状定義工程と、前記計算領域の少なくとも一部を内包する内包多面体を定義する内包多面体定義工程と、前記計算領域の互いに異なる3つの方向の寸法をそれぞれ所定の分割数にて除することにより定めたピッチに基づいて前記内包多面体を前記3つの方向それぞれについて分割して多数の微小多面体要素を生成する微小要素分割工程と、前記多数の微小多面体要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択工程とを備え、残りの前記微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとすることを特徴とする解析モデルの生成方法が提供される。

【0018】また、本発明の別の態様によれば、数値解析の対象となる計算領域より多数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する装置であって、前記計算領域の表面形状を定義する表面形状定義手段と、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義する規格化分割空間定義手段と、前記規格化分割空間定義手段により定義された多数の多面体微小要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい微小要素を取り除く微小要素選択手段とを備えたことを特徴とする解析モデルの生成装置が提供される。

【0019】また、本発明の好ましい態様によれば、前記微小要素選択手段により微小要素を取り除かれた残りの微小要素の表面頂点を計算領域の表面へ移動する表面頂点移動手段を備えたことを特徴とする解析モデルの生成装置が提供される。

【0020】また、本発明の別の態様によれば、数値解析の対象となる計算領域より複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを生成する装置であって、計算領域の表面形状を定義する表面形状定義手段と、前記表面形状定義手段により定義された計算領域の少なくとも一部を内包する内包多面体を定義する内包多面体定義手段と、前記計算領域の互いに異なる3つの方向の寸法をそれぞれ所定の分割数にて除することにより定めたピッチに基づいて前記内包多面体定義手段により定義された内包多面体を前記3つの方向それぞれについて分割して多数の微小多面体要素を生成する微小要素分割手段と、微小要素分割手段により生成された多数の微小多面体要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択手段とを備えたことを特徴とする解析モデルの生成装置が提供される。

【0021】また、本発明の別の態様によれば、射出成形の流体流動過程を数値解析する方法であって、射出成

形キャピティを表わす計算領域の表面形状を定義する表面形状定義工程と、多数の多面体微小要素からなる規格化分割空間を定義する規格化分割空間定義工程と、前記多数の多面体微小要素のうち前記計算領域に含まれる部位の体積の割合が所定の最小充填率より小さい前記微小要素を取り除く微小要素選択工程と、残りの前記微小要素の集合をもって計算領域を近似する解析モデルとして前記流体の流動過程を数値解析することを特徴とする射出成形過程の解析方法が提供される。

【0022】また、本発明の別の態様によれば、請求項1〜5のいずれかに記載の解析モデルの生成方法の各手順をコンピュータを用いて実行するためのコンピュータプログラムを記憶した記憶媒体が提供される。

【0023】

【発明の実施の形態】図1は本発明の解析モデル生成装置のハードウェア構成例を示す図である。コンピュータ101に入力装置103、表示装置104および補助記憶装置102が接続されている。

【0024】図2は本願発明の手順を示すフローチャートである。

【0025】ステップ1では、オペレータは入力装置103により、3次元CADあるいは有限要素法に基づく数値解析用のプリプロセッサなどの3次元形状の定義用ソフトウェア(総称して形状定義ソフトウェアと呼ぶ)を利用して、例えば解析する射出成形部品の3次元的な形状を入力する。

【0026】ステップ2では、形状定義ソフトウェアより計算領域(数値解析の対象となる領域)の表面定義データSを補助記憶装置102に出力する。表面定義データSとは、例えば文献「3次元CADの基礎と応用(鳥谷、千代倉)」に述べられているように曲面の式が2次方程式で現される2次曲面などの関数形で定義される場合や、図3に示すように計算領域表面を3角形の組み合わせとして表し、各3角形の頂点座標値を定義する場合などがある。

【0027】ステップ3では、101のRAM(ランダムアクセス可能な揮発性メモリ)に対して、表面データを読み込み、図4に示すように計算領域全体を内包する直方体Aを定義し、各辺を分割するピッチを定めて格子状に分割する。Aの各辺の分割ピッチは不均一でもよく、オペレータが入力装置103より入力したり、あるいは形状から自動的に算出してもよい。また直方体Aの形状に代わって、計算領域の形状に合わせて、例えば四面体形状、平行六面体形状、球状、円柱状などを選択してもよい。その場合は、以下のステップを互いに平行でない3方向の直線の座標軸からなる座標系、極座標あるいは円柱座標というように座標系定義を変更することで実現できる。本発明において、このように設定される、多数の空間微小要素からなる空間を、規格化分割空間と呼ぶ。

【0028】以下、直交座標系において分割ピッチを自動算出する方法の一例を図5を参照しながら説明する。簡単のため、図5ではZ方向を省略し、XY断面で示す。例えば射出成形品の場合のように、計算領域が薄肉構造の場合、解析精度を確保するためには肉厚方向に3層程度以上の微小要素分割を行う必要がある。このとき、まず直方体A内部において、所定のY、Z座標について成形品と交差するX方向線分Bを定義する。BとSとの交点を算出し、交差する順にP1,Q1,P2,Q2...と番号つける。肉厚方向の層分割数をN=4とすると、例えばP1Q1間では $t_1=P1Q1/4$ 、P2Q2間では $t_2=P2Q2/4$ を分割ピッチ候補とする。この操作を一定の間隔でY、Z座標を変更して行い、同一のX座標部分での分割ピッチ候補のうち最小の値を同部分のX軸方向分割ピッチとして採用する。同様にY軸、Z軸方向についても行えば、分割ピッチを自動的に算出することができる。別の例として例えばテーパ付きの板状成形品では図6に示すように、成形品と交差するX方向線分Bを定義し、上記方法により成形品表面との交点間を4分割してピッチ1、ピッチ2およびピッチ3を定め、例えば $x=x_i$ の位置では最小のピッチ3を採用するようにしても良い。また、四面体要素に分割するときには、例えば、上記のようにして求めた分割ピッチに基づいて四面体の一辺の長さなどに対応する量を決めるという方法で分割しても良い。また、この段階であっても多面体要素の形状がすべて同一である必要はなく、一定の法則に従って空間が分割されていればよい。

【0029】ステップ4では、格子状に分割されたAの分割面で囲まれた微小直方体を微小要素とし、各微小要素の内部で計算領域に含まれる部分の体積Vを算出し、微小要素の充填率Fを $F=V/v_0$ として算出する。ここで $v_0$ は微小要素の体積である。

【0030】Vの算出方法を図7を参照しながら説明する。図7では簡単のためZ方向を省略し、XY断面を表示している。まず直方体A内部において、所定のY、Z座標について成形品と交差する直方体ビームBmを定義する。BmはY,Z方向にそれぞれ微小な一定の幅 $dy, dz$ を持つものとする。Bmの中心線とSとの交点を算出し、交差する順にP1,Q1,P2,Q2,P3,Q3...と番号つける。例えばP1,Q1間については、P1Q1の少なくとも一部の長さLcを含む微小要素Cについて体積 $dy \times dz \times Lc$ を求め、微小要素Cのうち計算領域が占める体積 $v_c$ に加える。この操作を $dy, dz$ の間隔でY、Z座標を変更して行えば、各微小要素の中で計算領域の占める体積Vを求めることができる。

【0031】別の例としてテーパ付き板状成形品の例を図8に示す。微小要素Cの部分の拡大図にあるように、Bmを $i=1, 2, \dots, m$ 、 $j=1, 2, \dots, n$ の範囲で一定間隔 $dy, dz$ で移動し、計算領域に含まれる部分の長さLijを求める。と、 $V=dy \times dz \times (L_{11}+L_{12}+\dots+L_{mn})$ にてVを得ること

ができる。

【0032】ステップ5では、微小要素のうち、充填率Fが最小充填率 $F_m$ 以下の要素を除去することにより、計算領域を階段状に近似した第1近似メッシュGを得る。図9にその断面形状の例を示す。最小充填率 $F_m$ の適切な値は形状と格子間隔により異なるが、0.1~0.3の範囲で設定することが望ましく、 $F_m$ を小さくするほど計算領域に含まれる部位を持つ微小要素の抜け落ちを防げる代わりに余分な体積を付加することになる。

【0033】ステップ6では、第1近似メッシュGの微小要素の頂点を移動することにより、形状表面データSに近づけて近似精度を高める。ここでGの微小要素の頂点のうち、上記充填率を満たさないため除去された微小要素を除く微小要素の集合の表面に露出しているものを表面頂点、それ以外を内部頂点と呼ぶ。なお表面頂点とはGの表面に露出した頂点であり、表面データSに対する相対位置は任意であり、例えば図9の丸印に示すようにSの内部に存在してもよい。

【0034】図10は図9に示した第1近似メッシュGの各要素のみを示した図である。図10に示すように、個々の内部頂点 $N_i$ について、微小要素を共有する頂点のグループ $N_{ic}$ を $N_i$ の接続頂点と呼ぶ。

【0035】まず図11に示すように、例えば、表面頂点からSへの最短距離を表す最短ベクトル $M_v$ を求める。次に $M_v$ を例えば10等分し、すべての表面頂点を $M_v/10$ だけ移動する。この $M_v/10$ の移動操作を移動ステップと呼ぶ。移動ステップを実施すると表面頂点の強制的な移動に伴って微小要素が直方体から歪んだ形状となる。この歪みは有限要素法などの数値解析において精度の低下を招くことが知られている。そこで、一回の移動ステップに続いて移動させられた表面頂点と微小要素を共有する内部頂点を表面頂点の移動に呼応させて移動させる。

【0036】例えば、上記内部頂点の接続頂点(接続頂点の一部は上記のとおり移動させられた表面頂点である)の座標値から得られる重心位置へ移動することで歪みの減少をはかる。すなわち内部頂点の座標ベクトルを $V_n$ 、接続頂点の座標ベクトルを $C_1, C_2, C_3, \dots$ 、接続頂点数を $N_c$ とすれば $V_n = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots) / N_c - V_n$ を変更する。この内部頂点の移動により表面頂点の移動にともなう要素のつぶれを緩和することができる。この移動は表面頂点の移動に伴い発生するものであるから、表面頂点に接続した内部頂点にしか影響しない。そこで多層に分割された場合に対応するため、1回の移動ステップごとに内部頂点の移動を10回程度反復実行する。これによって内層にまで影響を及ぼし、微小要素形状を整えることができる。この移動の概念図を図12に示す。表面頂点 $T_0$ の移動により、まず1回目の反復で第1層目の内部頂点 $T_1$ が移動し( $M_1$ )、続いて2回目の反復で第2層目 $T_2$ までが移動する( $M_2$ )。



【0037】また、移動ステップごとに表面頂点を有する微小要素の内角(隣り合う辺の間の角度)を求め、これが例えば30度以下または150度以上となった微小要素をつぶれ要素とし、それに属する表面頂点については以降の移動ステップでの移動を中止することにより、要素の異常なつぶれを防止するようにしても良い。

【0038】また、移動ステップごとに、全体の体積誤差 $|V_q - V_s|/V_s$ を算出し、体積誤差が一定値以下になった時に十分な形状近似が得られたとして終了する。 $V_q, V_s$ はそれぞれG、Sの体積である。または要素の潰れが著しくなりつぶれ要素の総数が全体の微小要素数のうち一定の割合(例えば10%)を越えた場合にも終了するようにしても良い。図11では顕著なメッシュのつぶれは発生しなかったため、10ステップの移動ステップが終了した。頂点移動が終了したメッシュを第2近似メッシュG'とし図13に示す。

【0039】ステップ7では、G'を所定の数値解析用データとして補助記憶装置102に出力し、一方、表示装置104にて表示することによりメッシュ形状をチェックする。ここで形状近似やメッシュの形状、メッシュ数などに問題があれば、ステップ3に戻り、分割ピッチなどの変更を加える。

【0040】ステップ8では、G'に対して境界条件や初期条件、物性値などの解析条件を設定して、数値解析を実施する。数値解析としては計算領域内の流体運動を解析する数値流体解析、計算領域形状の構造物が荷重や熱などの外力に応答する構造解析、およびそれらを組み合わせた射出成形過程や鋳造過程のシミュレーションなどがあげられる。

【0041】

【実施例】図14は3次元CADによりコンピュータ上に作成されたプラスチック製品の表面を3角形の集合で表現したものであり、各3角形の頂点座標値が所定のフォーマットでコンピュータのディスク上に出力されている。(ステップ1、2)

続いて該3角形表面の頂点座標データより、該プラスチック製品全体を内包する直方体Aを定義し、直方体の各辺を分割するピッチ間隔を定め、格子状に分割する。ここでは格子のピッチ間隔は、製品形状のX、Y、Z方向の寸法をそれぞれ20等分して決定した。(ステップ3) 続いてステップ3で作成された格子面で囲まれた各微小要素の中で、プラスチック成形品が占める体積割合を求めて充満率とする。すなわちある微小要素が完全にプラスチック成形品の内部にあるときは充満率1、外部にある時はゼロ、一部が内部にあるときは0と1の間の値をとる。(ステップ4)

図15は充満率が0.1以下の微小要素を消去した結果を示す図であり、プラスチック製品形状が階段状におおまかに近似された第1近似モデルが得られた。(ステップ5) このとき、格子ピッチよりも小さい微小な面取り

やコーナー曲面部などは自動的に省略されている。このような微小な形状は数値解析では通常再現不要であり、無理にメッシュ分割するとメッシュ数の増大を招くことから、省略した方が望ましいことが多い。

【0042】図16は第1近似モデルの微小要素の頂点のうち、表面に露出したものを最寄りのプラスチック製品表面に移動した結果を示すものである。(ステップ6) この場合は最寄りのプラスチック製品表面への距離を10等分して徐々に近づけ、同時に内部の頂点は周辺の頂点の重心位置へ移動することにより、メッシュの潰れを最小限におさえたものである。

【0043】一般に表面への頂点の移動が進むほど、要素の潰れが大きくなり、数値解析精度の低下が見込まれる。この場合は10等分したステップのうち5ステップが進んだ時点でCADデータとの体積誤差が10%以下となったため、形状は十分に近似できていると判断して頂点移動を中止して第2近似メッシュとする。第2近似メッシュはコンピュータのディスクに出力され、一方、CRT画面上にメッシュ形状を画像出力することにより、メッシュ形状にもとのCADデータとの大きな相違がないことを確認した。(ステップ7)

図17は生成された第2近似メッシュに対し、ナイロン6の粘度、熱伝導率、比熱などの物性値、および射出温度、射出速度、金型温度などの境界条件を設定し、射出成形過程の流動時の材料圧力分布を解析した結果であり、等圧線図を0.8MPaごとに示している。(ステップ8)

また、ステップ3において、格子の分割ピッチを自動的に決定し、ステップ4、ステップ5において第1近似メッシュを生成した例を図18に示す。ここでは肉厚方向を3分割することを指定してピッチを決定した。図19はステップ6にて第2近似メッシュを生成した結果を示す図である。

【0044】このように本発明により、既存の3次元CADデータをもとに、形状を簡略化したり基本パーツに分解するなどの修正を施すことなく、複雑形状をほぼ全自動で数値解析用のメッシュに分割することが可能になり、数値解析期間のうちもっとも人手と時間を要するメッシュ生成行程を大幅に簡略化することができた。

【0045】別な応用として、例えば自動車のインストルメントパネルなど自由曲面を有する複雑形状はCADを用いて定義されるが、従来方法でこれをメッシュ生成しようとした場合、形状の再入力などで熟練者が1週間程度作業する必要があるところ、本発明によれば3次元CADデータにメッシュ分割ピッチを入力するだけで、非熟練者でも3時間程度でメッシュを生成することができた。

【0046】

【発明の効果】本発明によるメッシュ生成方法および装置によれば、数値解析モデルの生成にあたり、人手によ

る入力作業を極力なくし、かつ複雑な3次元形状を安定してメッシュ分割することができる。これにより、数値解析にかかる期間や労力を大幅に短縮しうる。

【0047】また、本発明によれば、解析対象の計算領域が解析に必要な程度を越えて精密に定義されているCADデータに基づいて定義されている場合であっても、数値解析用として適切な粗さの解析モデルを生成しうる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のメッシュ生成装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図2】本発明のメッシュ生成方法の手順の例を示すフローチャートである。

【図3】メッシュ生成を行う計算領域である射出成形品形状を、3次元CADにより作成し、表面を3角形の組み合わせで近似したモデルの例である。

【図4】図3のモデルを内包する直方体を生成し、直方体内部を格子状に分割した状態を示す概念図である。

【図5】図3のモデルの断面図であり、メッシュ生成する格子のピッチを自動決定する方法を示す概念図である。

【図6】テーパ付き板状成形品の断面図であり、メッシュ生成する格子のピッチを自動決定するを示す別の例の概念図である。

【図7】図4の概念図の断面図であり、各微小要素について図3に示す射出成形品の内部に含まれる部分の体積を算出し、微小要素体積で割って充満率を求める手法を示す概念図である。

【図8】図6のテーパ付き板状成形品断面図であり、微小要素Cの充満率を求める手法を示す概念図である。

【図9】図7により算出された充満率が0.1以下である微小要素を取り除いた結果、得られた第1近似メッシュの断面を示す概念図である。

【図10】接続頂点の定義の例を示す概念図である。

【図11】図9の第1近似メッシュの表面の微小要素頂点を図3の射出成形品形状の最寄りの表面に移動し、かつ内部の頂点を周囲の頂点の重心位置に移動することにより、形状近似の度合いを高める方法を示す概念図である。

【図12】節点移動の手順を示す概念図である。

【図13】図11に示す方法により得られた第2近似メッシュの断面を示す概念図である。

【図14】3次元CADにより作成された射出成形品の表面を、3角形の組み合わせで表現した表面データを示す概念図である。

【図15】図14の表面データを用い、等分割ピッチを入力して本発明の方法により第1近似メッシュを生成した結果を示す概念図である。

【図16】図15の第1近似メッシュの微小要素頂点を

本発明による方法にて移動し、第2近似メッシュを生成した結果を示す概念図である。

【図17】図16の第2近似メッシュに対して境界条件、物性値を設定し、射出成型時の重点課程を解析し、材料の圧力分布を求めた結果を示す概念図である。

【図18】図14の表面データを用い、本発明の方法により分割ピッチを自動的に決定して第1近似メッシュを生成した結果を示す概念図である。

【図19】図18の第1近似メッシュの微小要素頂点を本発明による方法にて移動し、第2近似メッシュを生成した結果を示す概念図である。

【図20】マップトメッシュ分割の手順の例を示す概念図である。

【図21】アドバンシングフロント法の手順の例を示す概念図である。

【符号の説明】

S : 射出成形品の表面形状

A : Sを内包する直方体

D : 射出成形品断面

20 B : ピッチ自動決定用ビーム

P1,Q1,P2,Q2 : ビームとD表面との交点

t1,t2 : 自動的に決定されたピッチ

Bm : 体積充満率計算用ビーム

dY : BmのY方向幅

C : 微小要素

Lc : Bmのうち、DとC両方に含まれる部分の長さ

G : 第1近似メッシュ

Ni : 微小要素頂点

Nic : Niの接続頂点

30 Mv : 表面の頂点の移動ベクトル

T0 : 表面頂点

T1 : 第1層の内部頂点

T2 : 第2層の内部頂点

M0 : 表面頂点の移動ベクトル

M1 : T1の移動ベクトル

M2 : T2の移動ベクトル

G' : 第2近似メッシュ

PL : 等圧線図

Sm : 計算領域形状の例

40 Pm : メッシュ生成用の部分領域

Hm : 部分領域定義用に追加された補助線

Km : 部分領域の格子状分割

Mm : 全体領域のメッシュ分割

Sa : 計算領域形状の例

Pa : 境界上に配置された初期フロント節点

Fa : メッシュ生成途中の状態

Ma : 全体領域のメッシュ分割

【図1】

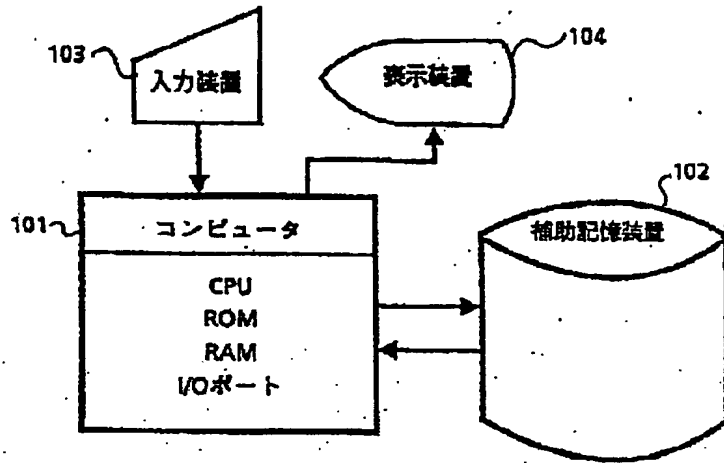


図1

【図2】

- |       |                    |
|-------|--------------------|
| ステップ1 | 3次元CADによる形状定義      |
|       | ↓                  |
| ステップ2 | 表面データSの出力          |
|       | ↓                  |
| ステップ3 | 分割領域Aと分割ピッチの算出     |
|       | ↓                  |
| ステップ4 | 微小要素の充満率の算出        |
|       | ↓                  |
| ステップ5 | 第1近似メッシュの生成        |
|       | ↓                  |
| ステップ6 | 第2近似メッシュの生成        |
|       | ↓                  |
| ステップ7 | 第2近似メッシュの画面出力・チェック |
|       | ↓                  |
| ステップ8 | 数値解析の実施            |

図2

【図14】

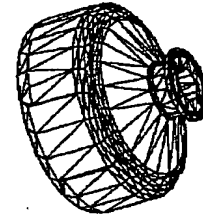


図14

【図3】

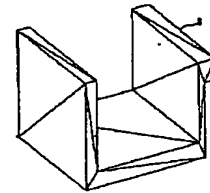


図3

【図5】

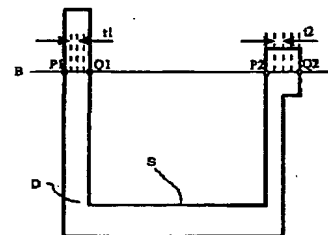


図5

【図4】

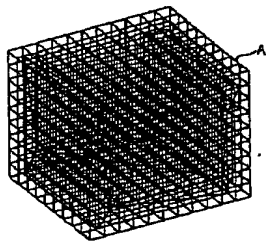


図4

【図6】

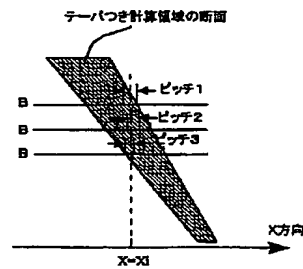


図6

【図7】

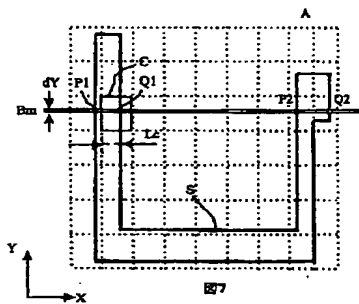


図7

【図8】

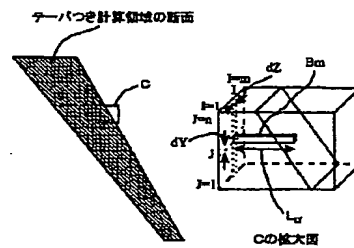


図8

【図9】

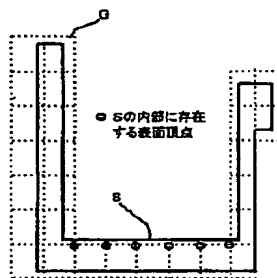


図9

【図10】

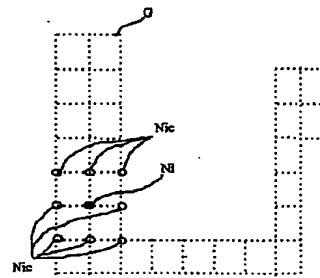


図10

【図13】

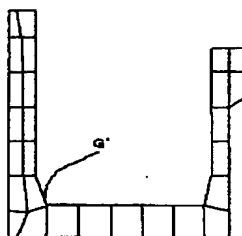


図13

【図15】

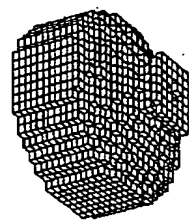


図15

【図11】

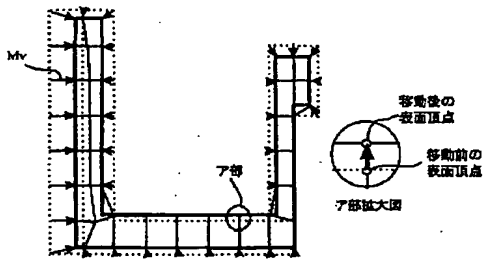


図11

【図12】

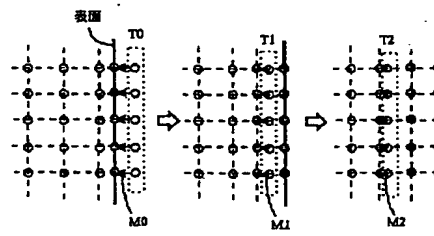


図12

【図16】

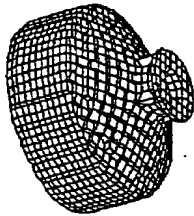


図16

【図17】

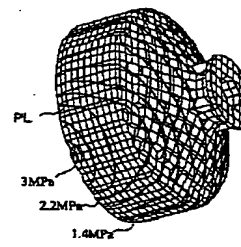


図17

【図18】

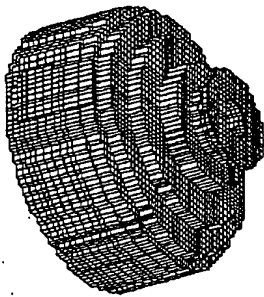


図18

【図19】

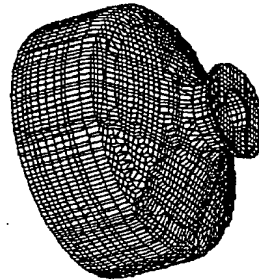


図19

【図20】

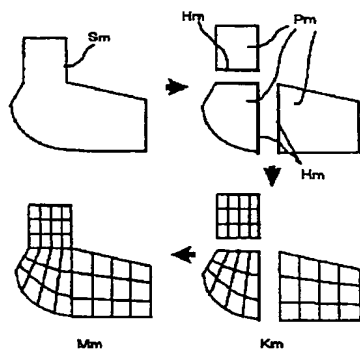


図20

【図21】

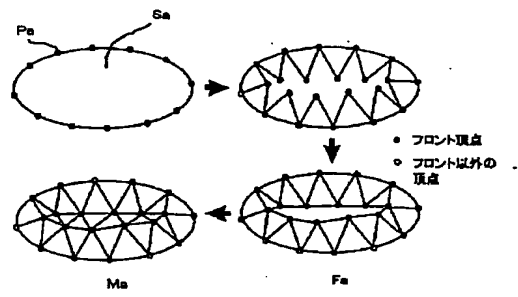


図21